

УДК 621

**МАГНИТНО-МЯГКИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ  
ИЗОЛИРОВАННЫХ ЧАСТИЦ ЖЕЛЕЗА****Г.А. ГОВОР***Институт физики твердого тела и полупроводников  
НАНБ, г. Минск,***В.М. ДОБРЯНСКИЙ***Белорусский педагогический университет им. М. Танка,  
г. Минск*

Основная тенденция сегодняшнего дня в развитии техники электрических машин – сварочных трансформаторов, электродвигателей и других устройств заключается в переходе на высокочастотные изделия. К примеру, источники питания мощностью менее 500 Ватт производятся в настоящее время, в основном, в виде высокочастотных инверторов.

Ориентация промышленности на высокочастотные материалы требует разработки новых магнитно-мягких материалов с параметрами, которые сравнимы или несколько выше тех же параметров существующих металлических магнетиков.

В этой связи исследование новых магнитных материалов на основе изолированных частиц железа представляет интерес для теории магнетизма – изучение механизма магнитного обмена через тонкие изоляционные слои с формированием однофазного ферромагнитного упорядочения в многофазной кристаллической системе. С другой стороны, производство деталей электрических машин методом порошковой металлургии, в сравнении с используемыми в настоящее время ламинированными магнитными металлическими изделиями, имеет большие преимущества. Здесь и снижение веса и размера деталей, более широкий частотный диапазон работы материалов, меньшие вихревые и магнитные потери и многие другие достоинства.

В первую очередь, проблема повышения частоты работы магнитно-мягких материалов связана со снижением вихревых потерь в материале:

$$P_c = (\pi B_m f h)^2 / 6\rho, \quad (1)$$

где  $B_m$  – магнитная индукция насыщения;  $f$  – частота;  $h$  – толщина металлического листа;  $\rho$  – удельное сопротивление.

Видно из приведенного выражения, что вихревые потери в магнитном материале зависят, в основном, от двух факторов: пропорциональны квадрату толщины пластины  $h^2$  и обратно пропорциональны удельному сопротивлению материала  $\rho$ .

Снижение толщины металлических пластин  $h < 0,1$  мм ведет к существенному повышению цены магнитного материала. В результате этот метод снижения потерь за счет оптимизации толщины пластин практически полностью исчерпал себя и дальнейших прогресс не может быть с ним связан.

Снижения вихревых потерь в магнитном материале за счет увеличения удельного сопротивления путем изоляции отдельных частиц железа было предложено Фрит-

сом более ста лет назад. Однако, вследствие лучших магнитных свойств ламинированного металлического магнитного материала последний явился и является основой современных электрических машин.

Ранее были предприняты попытки разработать композиционный магнитный материал на основе порошка железа, капсулированного в различные изоляционные среды [1, 2]. Однако магнитные свойства известных композиционных материалов оказались существенно ниже их значений. В результате композиционные материалы так и не нашли широкого применения в промышленности.

В настоящей работе сделан следующий шаг по улучшению магнитных свойств магнитно-мягких композиционных материалов за счет капсулирования водно-атомизированных железных порошков ASC 100.29 (Швеция, Хоганас АВ), Atomet 1001HP (QMP, Канада) тонким ферритовым слоем от 10 до 30 нм. Синтез такого композиционного материала после компримирования осуществлялся путем локального спекания с образованием межзеренных микроканалов в изоляционном слое. В результате во всей многофазной системе создавалось единое электронное пространство при сохранении высокого удельного сопротивления материала  $\rho = 10^{-2} - 10^{-3} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ .

Анализ процесса намагничивания композиционного магнитно-мягкого материала показал, что кривые его намагничивания близки к намагничиванию объемного металлического материала. На рис. 1 приведены начальные кривые намагничивания композиционного магнитно-мягкого материала на основе водно-атомизированных порошков железа ASC 100.29, капсулированного тонким ферритовым слоем в сравнении с металлическим объемным железом из этого порошка, синтезированного при 1200 °С.

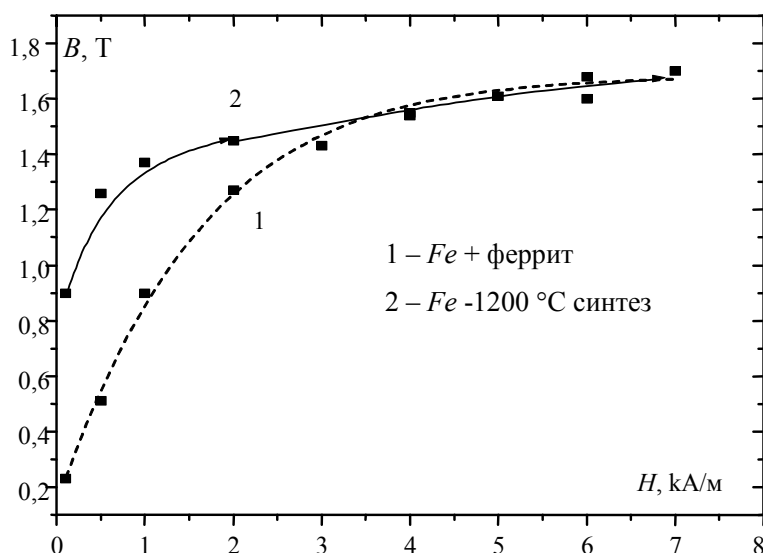


Рис. 1. Кривые намагничивания композиционного магнитно-мягкого материала на основе железного порошка ASC 100.29, покрытого тонким слоем феррита (1) и объемного магнитного материала из этого порошка, синтезированного при 1200 °С (2)

Из анализа приведенных кривых следует, что кривые намагничивания различаются только в начальной части в магнитных полях с напряженностью ниже  $H < 4-5 \text{ кА/м}$ .

Поскольку значение напряженности магнитного поля для электрических машин – трансформаторов, электродвигателей и других, составляет величину близкую к  $H = 10\text{--}12$  кА/м, то наблюдаемое различие не имеет большого значения для практических применений. В то же время, меньшие значения магнитной проницаемости композиционного материала требуют особой конструкции электрических машин.

Петли гистерезиса композиционного материала на основе порошка железа ASC 100.29 при перемагничивании на частоте 50 Гц и 10 кГц показаны на рис. 2 а, б.

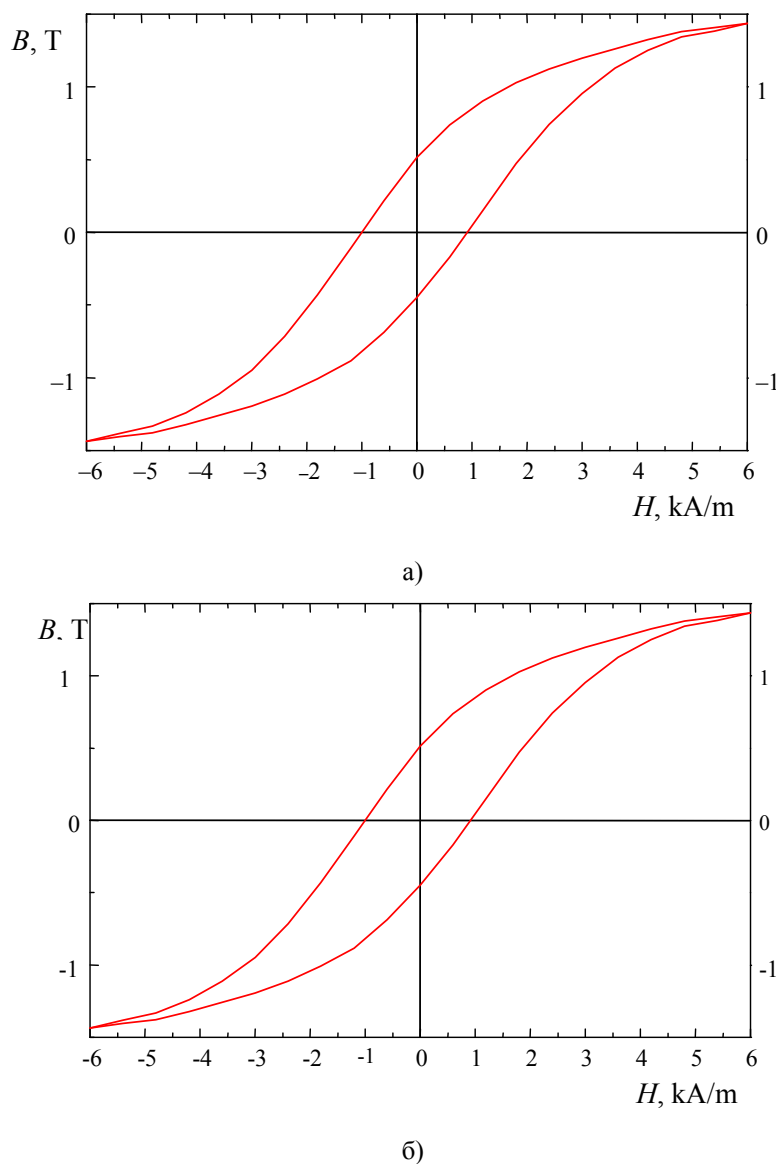


Рис. 2. Петли гистерезиса композиционного магнитно-мягкого материала на основе железного порошка ASC 100.29 на частотах 50 Гц (а) и 10 кГц (б)

Как видно из приведенного рисунка, коэрцитивная сила практически не увеличивается при изменении частоты от 50 Гц до 10 кГц. Постоянство коэрцитивной силы указывает на тот факт, что вихревые потери существенно меньше магнитных потерь. Также это подтверждает частотная зависимость начальной магнитной проницаемости композиционного магнитно-мягкого материала в частотном диапазоне до 10 кГц, приведенная на рис. 3. На рис. 3 кривые 1, 2 соответственно для композици-

онного материала с исходным размером частиц 100 и 50 мкм и кривая 3 – то же с размером менее 5 мкм.

Частотная зависимость в основном магнитных потерь композиционного материала приведена на рис. 4.

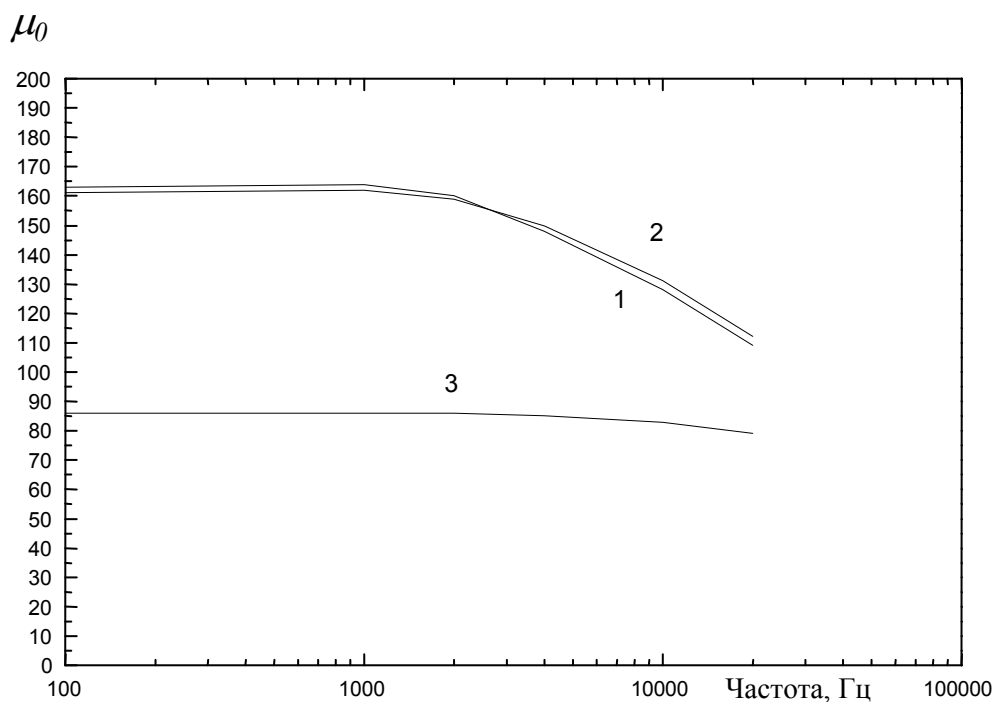


Рис. 3. Частотная зависимость начальной магнитной проницаемости композиционного магнитно-мягкого материала на основе железного порошка ASC 100.29 со средним размером частиц 100 мкм (1), 50 мкм (2) и 5 мкм (3)

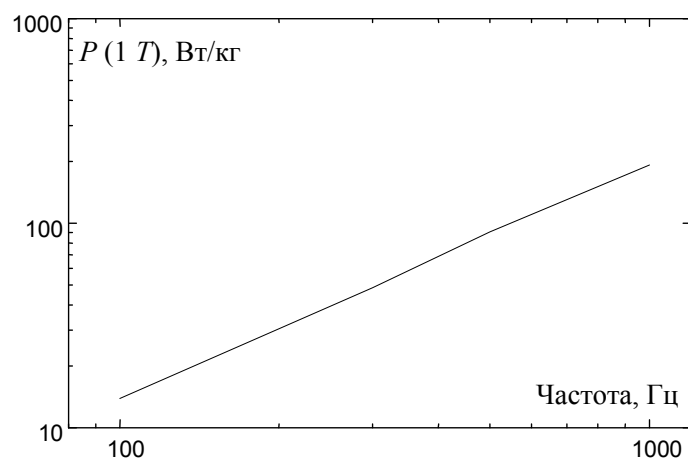


Рис. 4. Частотная зависимость суммарных потерь при перемагничивании композиционного материала на основе порошка железа ASC 100.29

Анализ магнитных свойств композиционного материала на основе порошка железа ASC 100.29, капсулированного тонким изоляционным ферритовым слоем, показал существенные преимущества в сравнении с металлическими магнитно-мягкими материалами.

**Список литературы**

1. D.E.Gay. Int. J. of Powder Metallurgy, v.32, p.13 – 25 (1996).
2. P. Jansson. 1998 PM World Congress Special Interest Seminar.

*Получено 01.02.2003 г.*